



เครื่องมือและการออกแบบอุปกรณ์การวิจัย

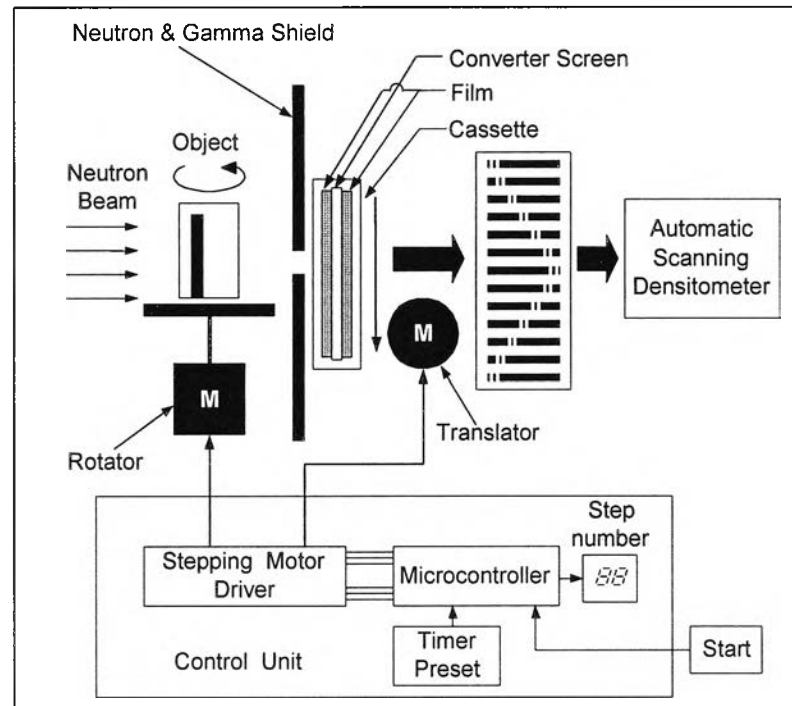
3.1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

ในการวิจัยนี้ได้จัดเตรียมวัสดุและอุปกรณ์เพื่อใช้ในการทดลองเก็บข้อมูลโปรไฟล์ ด้วยวิธีการถ่ายภาพด้วยนิวตรอน ดังนี้

1. ชุดกำบังรังสีและขับเคลื่อนตลับฟิล์ม ประกอบด้วยแผ่นตะกั่วหนา 3 มิลลิเมตร กว้าง 18.5 เซนติเมตร ยาว 29 เซนติเมตร จำนวน 4 แผ่น ใช้สำหรับกำบังรังสีแกมมา แผ่นแคดเมียมและกล่องบรรจุโบรอน ขนาดกว้าง 18 เซนติเมตร ยาว 27 เซนติเมตร จำนวน 2 กล่อง ใช้สำหรับกำบังนิวตรอนจากลำนิวตรอนของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ปปว.-1/1
2. แท่งพาราฟินผสมโบรอน (Borated Paraffin) ขนาด 30 X 30 X 6 ซม.³ จำนวน 2 แผ่น
3. ระบบหมุนชิ้นงานทดสอบควบคุมจากระยะไกล
4. ระบบสแกนอ่านข้อมูลความดำของแผ่นฟิล์มควบคุมด้วยไมโครคอมพิวเตอร์
5. ฟิล์มเอกซเรย์สำหรับงานอุตสาหกรรม ขนาดความกว้าง 8.5 เซนติเมตร ยาว 20.5 เซนติเมตร
6. ฉากเปลี่ยนนิวตรอนชนิด NE 426 ขนาดความกว้าง 8.5 เซนติเมตร ยาว 20.5 เซนติเมตร
7. ตลับอะลูมิเนียมสำหรับบรรจุฟิล์มขนาดความกว้าง 10.3 เซนติเมตร ยาว 22.2 เซนติเมตร
8. ชิ้นงานทดสอบ จำนวน 7 ชนิด
9. ชุดอุปกรณ์สำหรับใช้ในห้องมืดสำหรับการล้างฟิล์มเอกซเรย์ ได้แก่ ถาดใส่น้ำยาล้างฟิล์ม อุปกรณ์สำหรับผึ่งฟิล์ม ตู้อบฟิล์ม คีมจับฟิล์ม เป็นต้น
10. น้ำยาล้างฟิล์มเอกซเรย์ ประกอบด้วยน้ำยาสร้างภาพ น้ำยาหยุดการสร้างภาพ น้ำยาคงสภาพ และน้ำยาลดแรงตึงผิว (wetting agent)
11. กล่องแสงสำหรับดูฟิล์ม (Film Viewer)

3.2 ระบบการถ่ายภาพด้วยนิวตรอน

ในการทดลองเพื่อพัฒนาเทคนิคการถ่ายภาพนิวตรอนนี้ได้ปรับปรุงระบบเก็บข้อมูลโปรไฟล์เพื่อใช้ในการถ่ายภาพด้วยนิวตรอนจากงานวิจัยของ รองศาสตราจารย์ สมยศ ศรีสถิตย์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อรรถพร ภัทรสุมนต์⁽⁵⁾ ซึ่งจัดระบบถ่ายภาพดังรูปที่ 3.1



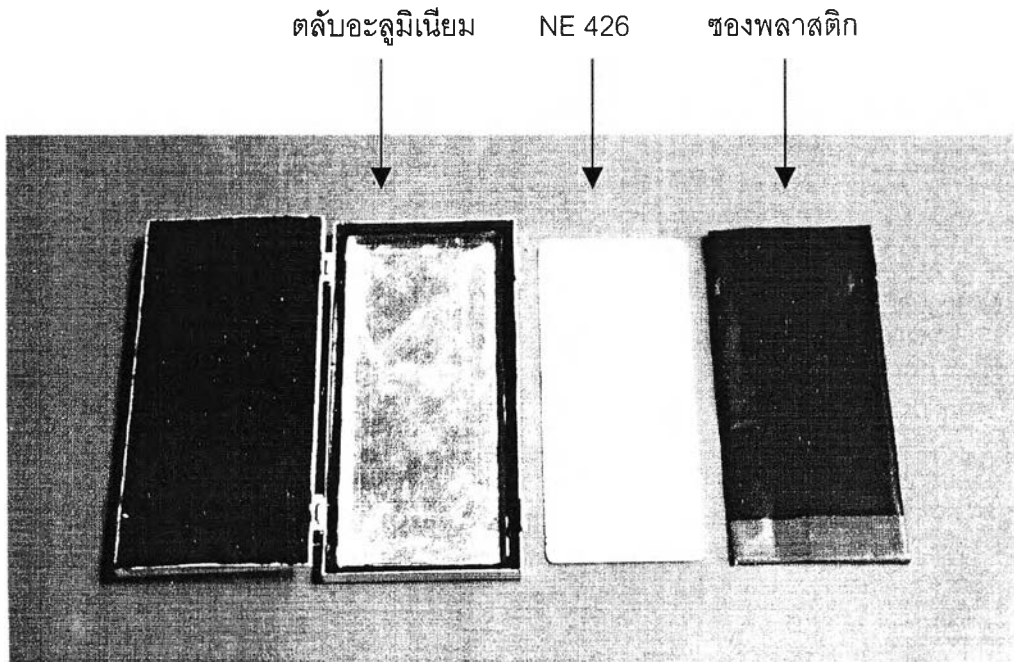
รูปที่ 3.1 แผนภาพระบบอุปกรณ์ถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยเทคนิคฟิล์ม⁽⁵⁾

รูปที่ 3.1 เป็นแผนภาพระบบอุปกรณ์ถ่ายภาพด้วยนิวตรอน โดยลำนิวตรอนจะทะลุผ่านวัตถุที่ถูกควบคุมให้หมุนด้วยมุมน้อย ๆ ซึ่งวางติดตั้งไว้บนสเต็ปมอเตอร์ (Stepping Motor) อยู่หน้าชุดก้ำบังรังสีสำหรับถ่ายภาพด้วยนิวตรอนที่เจาะช่องให้ลำรังสีทะลุผ่านไปยังฟิล์มบันทึกภาพที่บรรจุอยู่ในตลับอะลูมิเนียม เมื่อมีการถ่ายภาพตลับอะลูมิเนียมดังกล่าวจะเลื่อนลงทีละ 1 เซนติเมตร พร้อมกับการหมุนของวัตถุจนครบ 180 องศา เมื่อผ่านกระบวนการล้างฟิล์มแล้วเกิดเป็นภาพขาวดำ จากนั้นนำไปสแกนอ่านข้อมูลความดำด้วยชุดสแกนอ่านความดำโดยอัตโนมัติ ข้อมูลที่อ่านได้นี้เรียกว่า "ข้อมูลโปรไฟล์" เพื่อนำไปคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี

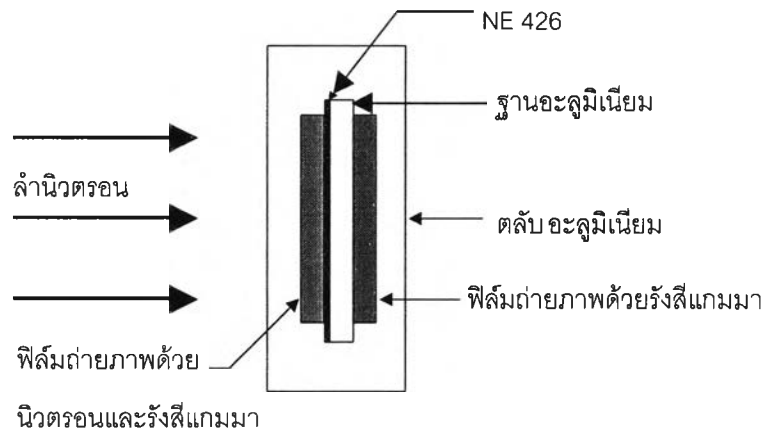
3.3 การออกแบบชุดบันทึกภาพ

ในการถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยใช้เทคนิคฟิล์มและมีฉากเปลี่ยนนิวตรอนชนิด ${}^6\text{LiF/ZnS(Ag)}$ เนื่องจากลำนิวตรอนจากเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ปปว.-1/1 มีปริมาณรังสีแกมมาค่อนข้างสูงซึ่งทำให้มีการรบกวนภาพบนฟิล์ม ประกอบกับการเกิดรังสีแกมมาเนื่องจากปฏิกิริยาการจับนิวตรอนของวัตถุตัวอย่าง จึงต้องปรับแก้ค่ารบกวนจากรังสีแกมมาดังกล่าวโดยมีวิธีการคือ ได้ออกแบบตัลบอะลูมิเนียมให้จัดเรียงฟิล์มเอกซเรย์จำนวนสองแผ่นไว้ระหว่างฉากเปลี่ยนนิวตรอน โดยฟิล์มแผ่นแรกวางอยู่ด้านหน้าซึ่งแนบชิดกับด้านหน้าของฉากเปลี่ยนนิวตรอน และฟิล์มแผ่นที่สองวางแนบกับแผ่นหลังของฉากเปลี่ยนนิวตรอนซึ่งเป็นฐานอะลูมิเนียม ทั้งนี้เพื่อให้ฟิล์มแผ่นแรกบันทึกภาพชิ้นงานที่เกิดจากรังสีแกมมาและนิวตรอน ขณะที่ฟิล์มแผ่นหลังบันทึกภาพชิ้นงานที่เกิดจากรังสีแกมมา ดังรูปที่ 3.2

เมื่อผ่านกระบวนการล้างฟิล์มแล้ว นำฟิล์มทั้งสองไปสแกนอ่านค่าความดำด้วยชุดสแกนอ่านค่าความดำที่พัฒนาขึ้นจากภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ⁽⁵⁾ แล้วปรับแก้ค่าข้อมูลโปรไฟล์เพื่อให้ได้ข้อมูลโปรไฟล์เนื่องจากรังสีนิวตรอนเท่านั้น



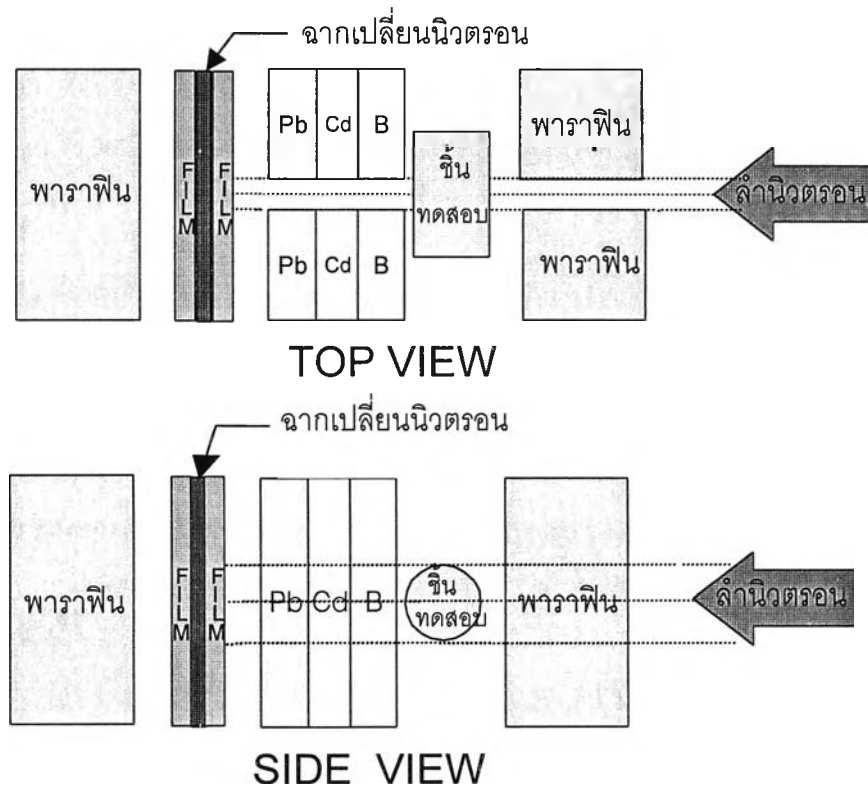
รูปที่ 3.2 (ก) ภาพถ่ายตัลบคาสเซ็ทและฉากเปลี่ยนนิวตรอน NE 426



รูปที่ 3.2 (ข) แผนภาพการจัดฟิล์มและฉากเปลี่ยนนิวตรอนภายในตัวอะลูมิเนียม

3.4 การออกแบบชุดกำบังรังสี

ในการออกแบบชุดบังกัมมันตภาพรังสีและกำบังรังสีใช้วัสดุ 4 ชนิด คือ แท่งพาราฟินผสมโบรอน ก่อ่งบรรจุผงโบรอน แผ่นแคดเมียมและแผ่นตะกั่ว มีการจัดวางชุดกำบังรังสีดังรูปที่ 3.3 วางแท่งพาราฟินผสมโบรอนกั้นด้านหน้าขึ้นทดสอบให้แคบพอที่ลำนิวตรอนจะตกกระทบชิ้นงาน เพื่อให้มีลำนิวตรอนผ่านเฉพาะส่วนที่ต้องการ คือ วัตถุชิ้นงานและลอดเข้าสู่ช่องหน้าต่างที่ให้รังสีผ่าน กั้นไม่ให้มีนิวตรอนผ่านไปถึงฟิล์มบริเวณอื่น ๆ



รูปที่ 3.3 การจัดวางอุปกรณ์ถ่ายภาพมองจากด้านบนและด้านข้าง

เมื่อนิวตรอนเคลื่อนที่ผ่านวัตถุก่อนจะถึงฟิล์ม จะผ่านชุดกำบังรังสีที่วางแนบด้านหน้าตลับบรรจุฟิล์ม โดยมีโบรอนวางอยู่นอกสุดเพื่อดูดกลืนนิวตรอนส่วนหนึ่งไว้ ถ้ามีนิวตรอนส่วนที่เหลือผ่านไปถึงแผ่นแคดเมียม แคดเมียมจะกั้นเทอร์มัลนิวตรอนไว้เป็นส่วนใหญ่ ส่วนตะกั่วนำมาวางติดกับฟิล์มเพื่อกั้นรังสีแกมมาส่วนที่ปะปนมากับนิวตรอนและรังสีแกมมาที่เกิดจากอันตรกิริยา (n, γ) กับชั้นทดสอบและวัสดุกำบังนิวตรอน ส่วนบริเวณด้านหลังของตลับฟิล์มนำแท่งพาราฟินผสมโบรอนและ/หรือแผ่นแคดเมียมมาวางเพื่อกั้นนิวตรอนที่กระเจิงภายในบริเวณที่ทำการทดสอบ การคำนวณหานิวตรอนและรังสีแกมมาที่ทะลุผ่านชุดกำบังรังสีอยู่ในภาคผนวก ก

3.5 การปรับปรุงชุดควบคุมสำหรับการถ่ายภาพด้วยรังสี

เป็นอุปกรณ์ที่ประกอบด้วย ชุดกำบังรังสีสำหรับการถ่ายภาพและระบบควบคุมสแต็ปมอเตอร์ ชุดกำบังรังสีสำหรับการถ่ายภาพเป็นชุดอุปกรณ์ที่ออกแบบให้วัตถุตัวอย่างวางอยู่บนแผ่นหมุนที่ขับเคลื่อนด้วยสแต็ปมอเตอร์ ติดตั้งอยู่ด้านหน้า มีช่องยาว 8 เซนติเมตร กว้าง 0.8 เซนติเมตรให้รังสีลอดผ่านไปยังฟิล์ม ด้านหลังมีตลับทำด้วยอะลูมิเนียมสำหรับบรรจุฟิล์มเอกซเรย์ สามารถเคลื่อนที่ไปมาได้ด้วยการขับเคลื่อนของสแต็ปมอเตอร์

ในการเคลื่อนที่ของตลับบรรจุฟิล์มและการหมุนของวัตถุตัวอย่าง จะถูกควบคุมโดยชุดควบคุมซึ่งทำหน้าที่ควบคุมให้การเคลื่อนที่ของตลับบรรจุฟิล์มสัมพันธ์กับการหมุนของวัตถุตัวอย่างขณะที่ถ่ายภาพ สัญญาณที่ควบคุมการทำงานของสแต็ปมอเตอร์จะถูกส่งมาจากระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อควบคุมให้ตลับฟิล์มเคลื่อนที่ไปครั้งละ 1 เซนติเมตร พร้อมกับการหมุนของวัตถุตัวอย่าง โดยสามารถเลือกให้หมุนไปครั้งละ 3.6 องศาหรือ 7.2 องศา และควบคุมเวลาในการถ่ายภาพให้เหมาะสมตามความต้องการ โดยตั้งเวลาที่หน้าปัดของชุดควบคุม การควบคุมการทำงานของระบบสามารถควบคุมจากทางไกลผ่านทางสายเพื่อลดอันตรายจากการได้รับรังสีไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้เป็นเบอร์ 8032 ใช้ภาษาเบสิกในการควบคุมการทำงาน ซึ่งสามารถปรับปรุงและแก้ไขได้

ในงานวิจัยนี้ มีการปรับปรุงเพื่อให้เหมาะสมกับการกำบังรังสีนิวตรอนและรังสีแกมมาโดยใช้แผ่นแคดเมียม กลองบรรจุโบรอน แท่งพาราฟินผสมโบรอน และแผ่นตะกั่ว โดยจัดวางให้มีลักษณะทางเรขาคณิตที่เหมาะสม และแก้ไขโปรแกรมควบคุมการขับเคลื่อนให้สอดคล้องกับจำนวนโปรไฟล์และขนาดของฟิล์มที่ใช้งาน ในการเก็บข้อมูลโปรไฟล์เพื่อคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีต้องถ่ายภาพแต่ละมุมของวัตถุจนได้ภาพอย่างน้อย 180 องศา สำหรับชุดขับเคลื่อนที่ใช้ฟิล์มกว้าง 8.5 เซนติเมตร ยาว 20.5 เซนติเมตร ฟิล์ม 1 แผ่นสามารถถ่ายภาพได้ 20 โปรไฟล์ ดังนั้นถ้าหมุนด้วยมุมทีละ 3.6 องศา จะใช้ภาพ 50 ภาพ ซึ่งต้องใช้ฟิล์ม 3 แผ่น แต่ถ้าหมุนด้วยมุม

ทีละ 7.2 องศา จะได้ภาพ 25 ภาพ ซึ่งต้องใช้ฟิล์ม 2 แผ่น แต่ข้อมูลที่ได้อาจไม่ให้อายุละเอียดของภาพเท่าการหมุนด้วยมุมทีละ 3.6 องศา

3.6 เครื่องสแกนอ่านความดำฟิล์มเอกซเรย์แบบอัตโนมัติ⁽⁵⁾

เมื่อนำฟิล์มที่ถ่ายภาพวัตถุตัวอย่างด้วยรังสีไปผ่านกระบวนการล้างฟิล์ม ความดำของฟิล์มจะขึ้นอยู่กับความสามารถในการลดทอนรังสีของวัตถุตัวอย่าง ถ้าความเข้มของรังสีที่ทะลุผ่านวัตถุตัวอย่างได้มาก จะทำให้ฟิล์มดำมาก ความดำของฟิล์มที่ตำแหน่งต่าง ๆ สามารถอ่านได้ด้วยเครื่องอ่านความดำฟิล์มเอกซเรย์แบบอัตโนมัติที่พัฒนาโดยภาควิชานิวเคลียร์ เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เครื่องอ่านความดำฟิล์มเอกซเรย์แบบอัตโนมัติจะทำหน้าที่สแกนอ่านความดำบนภาพแต่ละภาพตรงตำแหน่งที่ต้องการสร้างภาพทีละแถวจนครบทุกภาพ ในการเลื่อนฟิล์มให้วิธีการเคลื่อนที่จะมีวงจรขับสเต็ปมอเตอร์เป็นตัวควบคุมการทำงาน อุปกรณ์อ่านความดำ (Densitometer) ที่ใช้มีรูรับแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตรเป็นตัวอ่านความดำที่ตำแหน่งต่าง ๆ มีเส้นใยนำแสงทำหน้าที่นำแสงที่วัดได้ไปยังอุปกรณ์วัดแสง ความดำที่อ่านได้มีหน่วยเป็น Optical Density (OD) สัญญาณที่ได้นี้จะผ่านวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณเชิงตัวเลขส่งไปยังไมโครคอมพิวเตอร์เพื่อนำไปคำนวณสร้างภาพ ในงานวิจัยนี้มีการแก้ไขโปรแกรมควบคุม เพื่อให้เครื่องอ่านความดำฟิล์มเอกซเรย์แบบอัตโนมัติซึ่งพัฒนาในภาควิชานิวเคลียร์ สามารถอ่านความดำของภาพได้ระยะพอดีกับแถบความดำ (strip) และขนาดของฟิล์มที่ใช้งาน

3.7 โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี

เป็นโปรแกรมที่พัฒนาโดย รองศาสตราจารย์ สมยศ ศรีสถิตย์ ซึ่งสามารถทำงานบนโปรแกรม วินโดวส์ '95 และ '98 แสดงผลภาพเป็นสีเทา 256 ระดับ แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนคำนวณสร้างภาพและการแสดงผลโทโมกราฟี

ส่วนของการคำนวณสร้างภาพ (Reconstruction) เป็นส่วนที่โปรแกรมคอมพิวเตอร์นำข้อมูลโปรไฟล์ที่อ่านไว้ในหน่วยความจำที่เตรียมไว้มาปรับให้เหมาะสมด้วยฟิลเตอร์ฟังก์ชันของ Shepp-Logan แล้วคำนวณข้อมูลภาพด้วยวิธีคอนโวลูชันฟิลเตอร์แบค-โปรเจกชัน (Convolution Filter Back Projection) ข้อมูลที่ได้จะสัมพันธ์กับการลดทอนรังสีของวัตถุตัวอย่าง

ส่วนการแสดงผลภาพโทโมกราฟี เมื่อคำนวณข้อมูลภาพดังกล่าวแล้ว ข้อมูลที่ได้จะถูกจัดลำดับให้แสดงระดับสีเทาที่แตกต่างกัน โดยแบ่งข้อมูลภาพออกเป็น 256 ระดับ เพื่อกำหนดระดับสีเทาให้สอดคล้องกับข้อมูลภาพและแสดงผลภาพบนจอมอนิเตอร์

3.8 โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้สำหรับปรับแก้ข้อมูลโปรไฟล์เนื่องจากรังสีแกมมา

เป็นโปรแกรมภาษาเบสิกที่เขียนขึ้นเพื่อปรับแก้ข้อมูลโปรไฟล์เนื่องจากแบบกราวน์ที่เกิดจากรังสีแกมมา เมื่อถ่ายภาพแล้วจะได้ข้อมูลความดำจากภาพที่เกิดจากนิวตรอนและรังสีแกมมากับภาพที่เกิดจากรังสีแกมมาเพียงอย่างเดียว จากการถ่ายภาพขึ้นทดสอบและเมื่อไม่มีขึ้นทดสอบ นำข้อมูลความดำของรังสีแกมมาที่ถ่ายภาพเมื่อมีขึ้นทดสอบและไม่มีขึ้นทดสอบกับข้อมูลความดำของนิวตรอนและรังสีแกมมาที่ถ่ายภาพเมื่อไม่มีขึ้นทดสอบ ซึ่งเป็นแบบกราวน์มาหักลบออกจากข้อมูลที่ถ่ายภาพขึ้นทดสอบด้วยนิวตรอนและรังสีแกมมา จะได้ข้อมูลโปรไฟล์ที่ปรับแก้แล้ว

ในการอ่านข้อมูลความดำของฟิล์ม จะต้องอ่านให้ได้ข้อมูลที่ตรงกันในแต่ละคู่ของข้อมูลนิวตรอนและรังสีแกมมากับข้อมูลที่มีเฉพาะรังสีแกมมาเพียงอย่างเดียว แล้วนำข้อมูลมาหักออกจากกันจุดต่อจุด เพื่อนำมาคำนวณเป็นค่าโปรไฟล์ที่แก้ค่าแล้ว และนำไปใช้ในการคำนวณสร้างภาพในข้อ 3.7 รายละเอียดของโปรแกรมการปรับแก้ข้อมูลโปรไฟล์เนื่องจากรังสีแกมมาอยู่ในภาคผนวก ข